

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 20 578.0

**Anmeldetag:** 07. Mai 2003

**Anmelder/Inhaber:** Brabender OHG Duisburg, 47055 Duisburg/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Bildsamkeit von Materialien wie keramischen Rohstoffen und Massen

**IPC:** G 01 N 3/303

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 28. Januar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hintermeier", is placed below the typed name "Der Präsident".

Brabender OHG Duisburg  
Kulturstr. 51-57, 47055 Duisburg

**Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Bildsamkeit von Materialien wie keramischen Rohstoffen und Massen**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung der Bildsamkeit (Plastizität) von Materialien wie keramischen Rohstoffen und Massen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Unter Bildsamkeit (Plastizität) eines keramischen Rohstoffes oder einer keramischen Masse versteht man das Vermögen, sich unter der Einwirkung äußerer Kräfte zu verformen, ohne daß dabei der Zusammenhalt der Teilchen verloren geht. Ein weiteres Merkmal der Bildsamkeit liegt darin, daß eine irreversible Verformung erst dann eintritt, wenn die äußere Kraft einen Mindestwert, den sogenannten Anlasswert (yield value) überschritten hat. Kräfte unterhalb des Anlasswertes verursachen nur eine elastische, reversible Verformung.

Bei Ton-Wasser-Gemischen findet man bildsame Verformung bei Wassergehalten von etwa 20 bis 25 %.

Der Anlasswert hat ganz wesentliche praktische Bedeutung. Er verhindert, daß sich der bereits geformte keramische Rohling unter seinem Eigengewicht deformiert.

Die Erfahrung lehrt, daß mit steigender Verformungsgeschwindigkeit die Bildsamkeit ansteigt. In der Praxis wird dieser Effekt genutzt, indem man mit möglichst hoher Geschwindigkeit formt.

**Methoden der Bildsamkeit:**

Für den praktischen Betrieb sind im allgemeinen zwei Eigenschaften einer bildsamen Masse von Bedeutung:

- Die Kraft, die zur Verformung aufzuwenden ist und
- die maximal erreichbare Verformung bis zum Auftreten von Rissen.

Die Meßmethoden der Bildsamkeit lassen sich unterteilen in

- Methoden, bei denen man eine Größe misst, der man einen Bezug zur Bildsamkeit unterstellt und
- Methoden, bei denen versucht wird, unmittelbar Aufschluss über die Bildsamkeit zu erhalten.

Bei der **Pfefferkorn-Methode** wird auf einen Massezylinder von 40 mm Höhe ( $h_0$ ) und 33 mm  $\varnothing$  eine Platte mit definiertem Gewicht von 1192 g aus einer Höhe von 186 mm fallengelassen, wobei eine Stauchung zur Höhe  $h_1$  auftritt. Als Plastizitätszahl nach Pfefferkorn gilt der Wassergehalt, bei dem das Stauchverhältnis  $h_0:h_1 = 3,3:1$  beträgt. Der Wassergehalt, bei dem ein Stauchverhältnis von  $h_0:h_1 = 2,5:1$  erreicht ist, wird als Anmachwasserbedarf bezeichnet. Während bei der Pfefferkorn-Methode die Bildsamkeit bei hoher Verformungsgeschwindigkeit gemessen wird, nutzt man bei der **Methode nach Dietzel** das gleiche Gerät, staucht den Massezylinder aber langsam bis zur Rissbildung. Als Maß gilt die Stauchung in Prozent der ursprünglichen Höhe.

- Beim **Atterberg-Verfahren**, international von den Bodenkundlern benutzt, werden zwei Feuchtigkeitsgehalte bestimmt, die Grenzwerte des plastischen und des flüssigen Zustandes darstellen. Der Grenzwert des plastischen Zustandes ist die Ausrollgrenze, unterhalb der sich eine Masse nicht mehr zu dünnen Strängen ausrollen läßt, ohne krümelig zu werden. Der Grenzwert des flüssigen Zustandes ist die Fließgrenze, bei der ein Einschnitt in die Masse durch Klopfen zusammenfließt. Als Maß für die Bildsamkeit dient die Breite des Wassergehalt-Bereiches zwischen den Grenzwerten.
- Aufbauend auf dieser Methode gilt als **Plastizitätszahl nach Rieke** der Bereich zwischen der Ausrollgrenze und dem Anmachwasserbedarf, der hier so definiert ist, daß die Masse gerade nicht mehr an den Händen klebt.
- Nach **Cohn** bestimmt man den Wassergehalt, bei dem ein genormter, belasteter Stab in einer vorgegebenen Zeit in eine bestimmte Tiefe in die Masse eindringt.
- **Norton** bzw. **Baudran** verwenden die Torsionsprüfung für die Bestimmung einer Maßzahl für die Bildsamkeit. Das Produkt aus Anlasswert und maximaler Verformung wird als „workability“ bezeichnet. Es erreicht bei einem bestimmten Wassergehalt ein Maximum.
- Umgekehrt verwendet **Haase** als Maß für die Bildsamkeit den Quotienten aus Zerreißfestigkeit und Deformationsdruck. Seine Überlegungen gehen davon aus, daß eine Masse umso bildsamer ist, je größer der Zusammenhalt der Teilchen (= Zerreißfestigkeit) ist, je klei-

ner aber die Kräfte zum gegenseitigen Verschieben der Teilchen sind, d.h. je niedriger die Viskosität der Masse ist.

Auf einer ähnlichen Überlegung beruht die Methode nach **Hofmann** und **Linseis**. Hier wird als Maß für die Bildsamkeit der Quotient aus Zerreißfestigkeit und Anlasswert verwendet. Der Anlasswert wird charakterisiert durch den Auspressdruck, mit dem die Masse durch eine Düse gefördert werden kann.

Bei der Ermittlung der Bildsamkeit mit dem **Brabender-Plastographen** wird das Pulver bei kontinuierlich steigendem Wassergehalt in einer Knetkammer durchmischt. Registriert wird das Drehmoment des Antriebsmotors der Knetarme, d.h. der Widerstand des Pulver-Flüssigkeits-Systems gegen die Verformung. Als Maß für die Bildsamkeit gelten die Höhe des Drehmoments im Kurvenmaximum sowie die Steilheit der Flanken des Maximums. Aus der Kurve kann darüber hinaus der Wassergehalt beim maximalen Drehmoment entnommen werden.

Für eine theoretische Behandlung der Bildsamkeit mit am aussagefähigsten ist ein von **Ashbury** angegebener zyklischer Belastungsversuch (Torsion), bei dem die einwirkende Spannung zwischen den Maximalwerten  $+t$  und  $-t$  mit einer Periodendauer von ca. 1 min schwankt. Registriert wird die sich einstellende Verformung  $e$ . Der Flächeninhalt der Hysteresekurven ist ein Maß für die aufzuwendende Verformungsarbeit.

Die Aussagefähigkeit und Akzeptanz der Methoden ist zum Teil durch einen hohen messtechnischen Aufwand, zum Teil durch die beschränkte Genauigkeit und nicht vorhandene Personen-

Neutralität beschränkt. Die elastischen Eigenschaften der Probe werden mit Ausnahme des Brabender-Plastographen (Messkneter) und der Torsions-Methode nicht erfasst.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß es unabhängig ist von individuellen Beurteilungen und die Genauigkeit der Messungen verbessert wird.

Die Erfindung löst diese Aufgabe gemäß dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 dadurch, daß beim Verformungsvorgang zusätzlich der zeitliche Verlauf der vom Probenkörper beim Verformungsvorgang aufgebrachten Reaktionskraft gemessen wird, die Meßwerte (Weg und Kraft) einem Rechner zur Verarbeitung und Auswertung zugeführt werden.

Somit wird auf der Basis der Pfefferkorn-Methode eine neue, wesentlich erweiterte Methode vorgestellt, die zum einen die elastischen Eigenschaften berücksichtigt und zum anderen durch die Darstellung der Ergebnisse nicht nur den Endpunkt eines Meßvorgangs als Ergebnis zur Verfügung stellt, sondern den gesamten Ablauf der Verformung beginnend mit hoher Verformungsgeschwindigkeit sichtbar macht und dadurch eine sehr viel weitergehende Charakterisierung der plastischen Werkstoffeigenschaften ermöglicht.

Die Erfindung löst die obengenannte Aufgabe auch durch eine Vorrichtung, auf der das eben angegebene Verfahren ausgeführt wird.

Die Vorrichtung besteht aus einem geführten Fallgewicht (beispielsweise wie bei der Pfefferkorn-Methode mit einem Gewicht von 1192 g), das aus einer einstellbaren Höhe (zwischen 100 und 200 mm) auf die (im Normal zylindrische) Probe fällt und diese

staucht, beispielsweise auf ca. 1/3 seiner ursprünglichen Höhe. Die Probe steht auf einer Kraftmesseinheit (beispielsweise eine Kraftmessdose). Diese Kraftmessdose kann in sich selbst federnd sein oder alternativ selbst nicht federnd aber auf einem separaten Federsystem mit Wegaufnehmer gelagert sein.

Aus dem Diagramm 1 ergibt sich ein typischer Verlauf der Messwerte, zum einen die der Wegmessung und zum anderen die der Kraftmessung.

Wie sich aus diesem Diagramm ergibt, ist die Anfangsverformung von hoher Geschwindigkeit und geht dann in eine Verformung mit geringerer Geschwindigkeit über und endet schließlich bei der Endverformung (horizontaler Bereich).

Die Kraftmessung ergibt, daß hier anfangs ein hoher Kraftanstieg zu beobachten ist, wodurch die elastische Verformung bewirkt wird. Der Kraftsignalverlauf geht nach einem in etwa linearen Anstieg in einen wellenförmigen Anstieg mit geringerer Steigung über. Dieser Bereich repräsentiert die plastische Verformung.

Die Steigung  $m_1$  gibt den elastischen Kraftanstieg und die Steigung  $m_2$  den plastischen Kraftanstieg an.

Die Fläche unterhalb des linearen Anstiegs  $w_e$  gibt die elastische Verformungsenergie und die Fläche unterhalb der wellenförmigen Kurve  $w_p$  gibt die plastische Verformungsenergie an.

Gemessen wird über einen Zeitraum  $t_D$ , der als Deformationszeit in Millisekunden bezeichnet wird.

Das absolute Maximum der Kraftsignalkurve  $F_p$  gibt die maximal wirkende Kraft an, wonach dann im linear abfallenden Bereich  $m_3$  die Kraft auf Null zurückgeht ( $m_3$ ).

Somit ergibt sich der Signalverlauf an der Kraftmessdose aus dem durch die plastischen und elastischen Eigenschaften des Probenmaterials modellierten Impuls des Fallgewichts. Aus dem Kurvenverlauf lassen sich charakteristische Merkmale des plastischen (bildsamen) Verhaltens der Probe direkt herauslesen. Das Signal enthält Informationen über die plastischen Eigenschaften der Proben in Form des Dämpfungsverhaltens und des Impulsdurchgangs durch das Probenmaterial. Zusätzlich wird der Kraftmessaufnehmer durch den Aufprall zu Schwingungen angeregt, die dem Kraftsignal überlagert sind. Die Ausprägung dieser Schwingungen ist durch folgende Einflussgrößen bestimmt:

- Messbereich und Federeigenschaften des Messaufnehmers,
- Härte der Probe
- Dämpfungsverhalten bzw. elastische Eigenschaften des Probenmaterials.

Eine Verarbeitungssoftware interpretiert den Kurvenverlauf und stellt Zahlenwerte zur Verfügung, die die Plastizität des Probenmaterials kennzeichnen. Über den Signalverlauf kann ein Toleranzbereich gelegt werden, der zu einer automatisierten „pass-fail“ - Entscheidung genutzt werden kann.

Die Führung des Fallgewichts kann eine Linearführung sein, in der das Fallgewicht im freien Fall auf die Probe fällt oder aber zwangsgesteuert mit einer konstanten, beschleunigten, verzögerten oder oszillierenden Geschwindigkeit.

Das Fallgewicht kann allerdings auch an einem langen Hebel um eine Drehachse herum bewegt werden, wobei die Drehachse höhenverstellbar sein kann.

Bei der Führung kann es sich allerdings auch um einen langen Hebel mit Parallelogrammführung oder um ein Scherensystem handeln.

Zur Signalaufnahme wird ein relative oder auch absolute Messwerte messender Wegsensor oder ein ebensolcher Winkelsensor (beim Hebelsystem) eingesetzt.

Alle denkbaren Weg- und Winkelsensoren (Potentiometer, auf dem Hall-Effekt beruhend, optisch arbeitend, inkremental arbeitend) können eingesetzt werden.

In der Figur 1 ist die Vorrichtung prinzipiell dargestellt, und zwar sowohl in Seiten- als auch in Vorderansicht.

Auf einer Platte 1, die auf einer in einem Gehäuse 2 gelagerten Kraftmessdose 3 aufsitzt, ist ein Probenkörper 4 aus einer keramischen Masse angeordnet. Lotrecht über diesem Probenkörper 4 befindet sich eine Führung 5 für ein Fallgewicht 6. Führung und Fallgewicht befinden sich einem Gehäuse, das aus einer Schutzhülle 7 und einer oberen Haube 8 besteht. In der oberen Haube 8 ist ein Wegsensor 9 zur Detektierung der Bewegung des Fallgewichts 6 angeordnet.

Im unteren Gehäuse 2 befindet sich ein Rechner, dem die Messsignale des Wegsensors 9 bzw. der Kraftmessdose 3 zugeleitet werden und dort verarbeitet werden. Angezeigt werden die Ergebnisse auf einem Bildschirm 10 (siehe Diagramm 1).

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beträgt das Gewicht des Fallgewichts 1192 g. Die Fallhöhe ist einstellbar zwischen 100 und 200 mm.

Brabender OHG Duisburg  
Kulturstr. 51-57, 47055 Duisburg

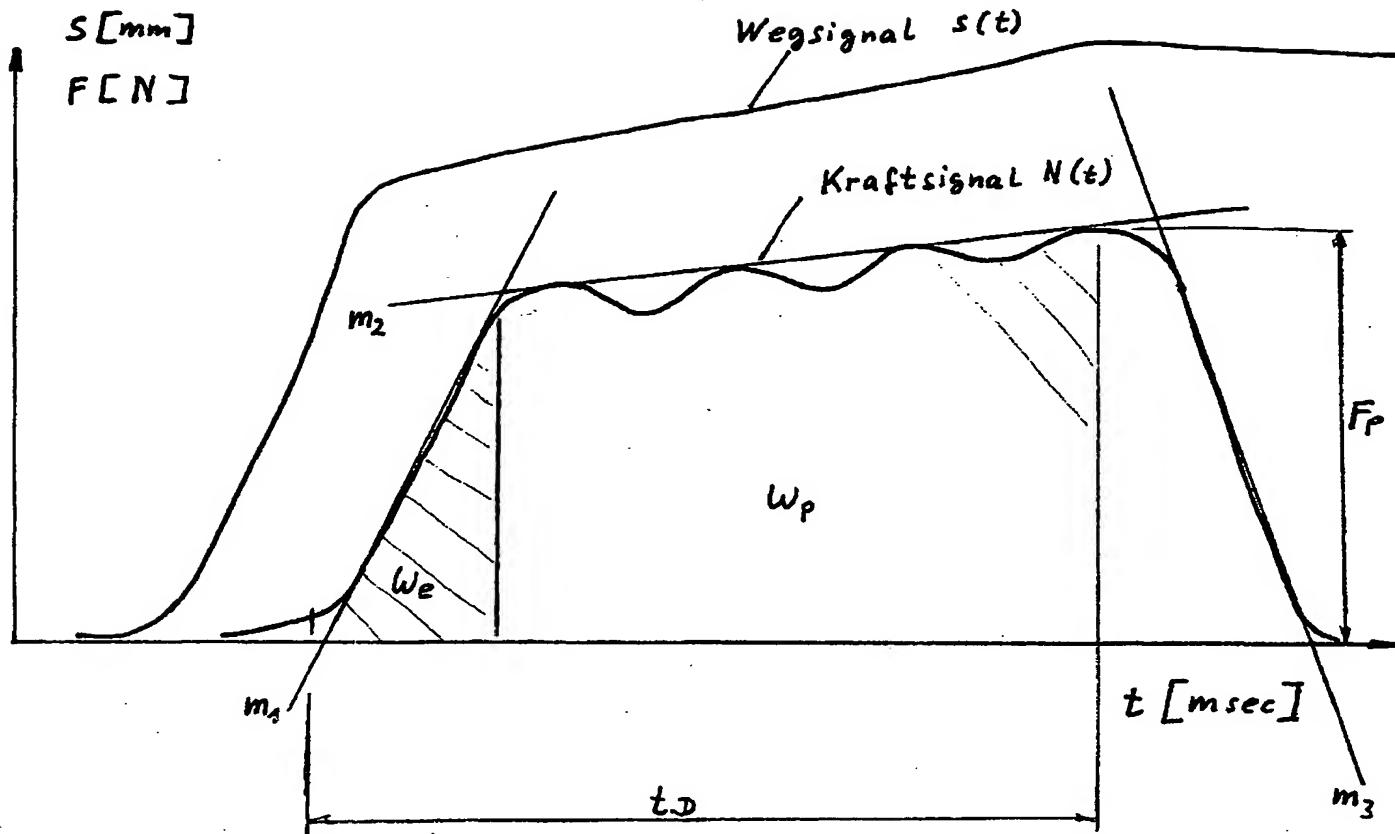
**Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Bildsamkeit von Materialien wie keramischen Rohstoffen und Massen**

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Messung der Bildsamkeit (Plastizität) von Materialien wie keramischen Rohstoffen und Massen, bei dem auf einen Probenkörper ein Gewicht einwirkt und ein die Verformung des Probenkörpers wiedergebendes Wegsignal gemessen wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß beim Verformungsvorgang zusätzlich der zeitliche Verlauf der vom Probenkörper beim Verformungsvorgang aufgebrachten Reaktionskraft gemessen wird und die Messwerte (Weg und Kraft) einem Rechner zur Verarbeitung und Auswertung zugeführt werden.
  
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht aus einer bestimmten Höhe auf den Probenkörper fallengelassen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht im freien Fall auf den Probenkörper auftrifft.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht mit einer geregelten Geschwindigkeit auf den Probenkörper auftrifft.
5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bestehend aus einem Probentisch (1), einer über dem Probentisch angeordneten Führung für ein auf einen Probenkörper einwirkendes Gewicht (6) sowie einem Wegsensor (9), der zur Messung des Weges des Gewichts (6) vorgesehen ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Probentisch (1) auf einer Kraftmessvorrichtung angeordnet ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Wegsensor (9) und das Kraftmessgerät (3) über Signalleitungen mit einem Rechner verbunden sind.
7. Vorrichtung nach Anspruch 5 oder 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Kraftmessgerät eine Kraftmessdose ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Kraftmessdose selbstfedernd ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Kraftmessdose auf einem separaten Federsystem mit  
Wegaufnehmer gelagert ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht in einer Linearführung geführt ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht an einem um eine Drehachse verdrehbaren  
langen Hebel angeordnet ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Drehachse höhenverstellbar ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht an einem Hebel mit Parallelogrammführung  
angeordnet ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Gewicht an einem Scherensystem angeordnet ist.



$t_D$  Deformationszeit [ms]

$F_p$  Peak/Kraftsignal [N]

$s$  Deformation [mm]

$W_e$  elastische Verformungsenergie [Nmm]

$W_p$  plastische Verformungsenergie [Nmm]

$m_1$  Kraftanstieg (elastisch) [N/ms]

$m_2$  Kraftanstieg (plastisch) [N/ms]

$m_3$  Kraftsignalabfall [N/ms]

Auswerte kurven Droptest

Diagramm 1

BRABENDER<sup>®</sup> OHG  
Kulturstraße 51-55  
47055 Duisburg  
Tel. 0203-7788-0  
Fax 0203-7788-100

23.4.03 k

Fig. 1

**Drop test**  
BRABENDER<sup>®</sup> CHO  
Kulturbraecke 51 - 55  
47055 Duisburg  
Tel. 02 03 - 77 88-00  
Fax 02 03 - 77 88-100  
23.4.03fk

